

Дальнейшие анализ и доработка методик расчета позволят получить универсальный и простой метод оценки дебита горизонтальной скважины с МГРП.

Литература

1. Елкин С.В., Алероев А.А., Веремко Н.А., Чертенков М.В. Модель для экспресс-расчета дебита флюида горизонтальной скважины в зависимости от числа трещин ГРП с учетом анизотропии пласта // Инженерная практика. – 2016. – № 7. – С. 82–88.
2. Елкин С.В., Алероев А.А., Веремко Н.А., Чертенков М.В. Учет влияния отклонения трещин от перпендикулярного положения к горизонтальной скважине на дебит жидкости после многозонного гидроразрыва пласта // Нефтепромысловое дело. – 2016. – № 10. – С. 37–42.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОБРАЗОВАНИЯ ГАЗОВЫХ ГИДРАТОВ

А.С. Зварыгин

Научный руководитель - профессор И.В. Шарф

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Введение

В современной газовой, нефтяной и химической отрасли многие технологические процессы сопровождаются образованием газовых гидратов. С развитием данных промышленных направлений возрастает актуальность более детального изучения газогидратов, а также методов их предотвращения и удаления. В статье рассматривается отечественный опыт использования математических моделей для описания процесса гидратообразования в стволе скважин на месторождениях. В ходе работы были проанализированы основные элементы нескольких моделей, рассмотрены основные составляющие модели формулы.

Проблемы отложения гидратных соединений

В настоящее время к гидратообразованиям привлечено достаточно немалое внимание не только как к возможным источникам углеводородов, но и как к причинам возникновения осложнений в работе промыслового оборудования. В основном это объяснено увеличением числа месторождений, разрабатываемых в условиях гидратных режимов, обусловленных наличием АВПД и низких температур. Проблемы с гидратоотложениями присутствуют в огромном количестве производственных систем: в призабойных скважинных зонах, УКПГ, в трубопроводах и коллекторах различных назначений, на станциях газораспределения, в стволах скважин, в узловых и головных участках магистральных трубопроводов, шлейфах и во многих других технологических системах добычи и переработки газа и конденсата. На сегодняшний день существует большой комплекс средств предупреждения и борьбы с образованием гидратоотложений, но для современного промышленного развития необходимо многократное увеличение технико-экономической эффективности данных методов. К таким методам относят:

- введение ингибиторов (метанол, диэтиленгликоль, триэтиленгликоль, раствор NaCl, раствор KCl, полиакпролактан, СОНГИД, Поли-N-винилирролидон);
- изменение термодинамических параметров движения потока;
- снижение давления на участке трубопровода;
- подогрев газа;
- глубокое охлаждение газов;
- сорбация влаги

Математическое описание процесса образования гидратов

Физико-химические основы предупреждения гидратоотложений ясны из анализа обобщенного уравнения Баррера-Стюарта. В популярном виде эти основы можно описать следующим механизмом: при заметном снижении давления паров воды в рассматриваемой системе начинает изменяться значение равновесных параметров гидрата. Данное изменение в первую очередь проявляется в увеличении давления диссоциации гидратов при постоянной температуре или снижении температуры диссоциации гидрата при постоянном давлении.

В основу ряда моделей описания образования гидратообразований входят мат. описания процессов диссоциации клатратных соединений.

В работах Бондарева Э. А., при описании процесса гидратообразования использовалась квазистационарная математическая модель. Движение газового потока в этой модели объясняется законами гидравлики. Динамические условия основываются на общей задаче Стефана, в которой при ф. переходе температура зависит только от давления газа. [4]

Для подробного анализа данной зависимости представим уравнения движения, уравнения неразрывности и уравнение энергии газа:

$$\frac{dP}{dx} = -\rho g \sin \varphi - \frac{\sqrt{\pi} \psi M^2}{4 \rho S^{2.5} S_0^{2.5}}, \quad (1)$$

$$\frac{dT}{dx} - \varepsilon \frac{dP}{dx} = \frac{\pi D \alpha}{c_p M} (T_c - T) - \frac{g}{c_p} \sin \varphi, \quad (2)$$

где: g – ускорение свободного падения; ρ – плотность рассматриваемого газового потока; c_p – удельная теплоемкость газа; ε – коэффициент дросселирования потока газа; x – координата перемещения точки расчета вдоль оси; S – поперечное сечение; D – диаметр; P – давление; ψ – коэф. гидр. сопротивления; φ – угол наклона трубы; T_c – температура среды; α – коэффициент теплопередачи; $M = \rho \theta S$ – расход газа, который является; T – температура смеси газа.

Чтобы связать значения давления и температуры с плотностью рассматриваемого газа воспользуемся формулой:

$$\rho = \frac{P}{zRT}, z = 1 + 0,07 \frac{P}{T} \left(1 - \frac{6}{T^2}\right), \varepsilon = \frac{RT^2}{c_p P} \frac{\partial z}{\partial T}, \quad (3)$$

где: R – газ. постоянная; z – коэффициент несовершенства газа; ε – коэффициент дросселирования выражается в крайней формуле (3).

Элементы данной математической модели были модернизированы вместе с работой Хайруллина М. Х., в которой для нахождения значений температуры и давлений решается уравнения неизоэнтальной фильтрации газа в виде системы. Из дополнительной задачи теплопроводности определяется параметр, который ранее определял поле температур пород, окружающих скважину. В предыдущих исследованиях для этого использовали интегральный метод.

Важной особенностью при мат. описании является учет процессов, которые сопровождают движение потока газа в стволе скважины. Предложенный авторами механизм (Хайркллин и др.) по включению данной зависимости в математическую модель процесса образования клатратных соединений описан в [1].

Все параметры течения газа в трубопроводе зависят от координаты z , при этом течение характеризуется как одномерное.

Если в ходе математического моделирования необходимо воспроизвести процесс нарастания кристаллогидратов в стволе скважины, то необходимо заложить в модель существование достаточного для гидратообразования количества свободной воды. Исходя из условия незначительного изменения гидратного слоя $S(z, t)$ с течением времени, процессы перераспределения и температуры полагаются квазиустановившимися. В таком случае, для описания движения газа в стволе с переменным сечением $S(z, t)$ необходимо использовать систему дифференциальных уравнений с предварительно заданными значениями текущих термобарических параметров газового потока на забое скважины в любой момент времени:

$$\frac{dP_2}{dz} = -g \frac{P_2}{T_2 Z_0} - \frac{T_2 Z_0 \sqrt{\pi} \psi M}{4 S^{2,5}}, \quad (5)$$

$$\frac{dT_2}{dz} = \frac{\pi D a_n (T_n - T_2)}{c_p M} - \frac{g}{c_p} - \varepsilon \frac{dP_2}{dz}, \quad (6)$$

$$P_{2|z=0} = P_1(r_c, t), T_{2|z=0} = T_1(r_c, t), \quad (7)$$

$$T_f(P_2) = \beta_1 \ln(P_2) + \beta_2 \quad (8)$$

$$a_n = \begin{cases} a_w, z \in I, \\ a_g, z \notin I, \end{cases} T_n = \begin{cases} T_3(r_c, z, t), z \in I \\ T_f, z \notin I \end{cases}. \quad (9)$$

где: $T_2 = T_2(z, t)$, $P_2 = P_2(z, t)$ – давление и температура газового потока в стволе скважины; L – протяженность ствола скважины; ε – коэффициент Джоуля-Томсона; ψ – коэффициент частного гидравлического сопротивления ствола скважины на участке длины; a_g – коэффициент взаимного теплообмена между газом и газогидратным слоем, a_w – коэффициент относительного теплообмена между стволом скважины и горными породами; I – участки ствола скважины, на который отсутствует гидратный слой, T_f – температура фазового перехода из газообразного состояния в твердое (гидрат); $T_3(r_c, z, t)$ – температура на внешней стенке скважины, β_1 , β_2 – эмпирические константы для расчета. Соотношение (8) представляет собой зависимость между давлением и температурой фазового перехода, которая получается в результате интерполирования экспериментальных данных.

Заключение

По итогам анализа можно сделать вывод о том, что для разрешения задач математического моделирования в области процессов образования гидратов, производится разделение математических операций, а решение уравнений осуществляется для каждой функциональной части задачи и может быть привязано к 4 этапам: описание процесса фильтрации газа, описание движения газа в стволе, учет термического взаимодействия скважины и сравнение полученных результатов с условием Стефана для уточнения границы раздела фаз.

Комплекс сложных вычислений, взаимосвязанных между собой показывает, что упрощение или отказ от тех или иных расчетных инструментов в процессе моделирования, недопустим и опасен. Необходимо уточнить, что столь широкая потребность в математическом прогнозировании и описании разработки месторождений подтверждает то, что формирование кристаллов гидратных соединений – это сложный процесс, а значит обеспечение стабильной работы скважины может быть гарантировано только при внимательной работе со всеми сопровождающими его факторами и переменными.

Литература

1. Глебова Л.В., Медникова О.Л. Методы борьбы с гидратообразованием // Новейшие технологии освоения месторождений углеводородного сырья и обеспечение безопасности экосистем Каспийского шельфа: материалы V Междунар. науч. – прак. конф. – Астрахань: АГТУ, 2014. – №10 – С. 71–73.
2. Макогон Ю.Ф. Гидраты природных газов. М.: Недра, 1974. – 208 с.
3. Фаресов А.В., Пономарев А.И., Круглов Е.А., Баряев А.П. Сравнение эффективности ингибиторов гидратообразования кинетического типа и опыт их промышленного применения в ПАО «Оренбургнефть» // Научно-технический сборник ВЕСТИ ГАЗОВОЙ НАУКИ. – Москва, 2016. – №2. – С. 117–122.
4. Hammerschmidt E. G. Formation of gas hydrates in naturalgas transmission lines // Industrial and Engineering Chemistry, 1934. – vol. 26. – № 8. – P. 851–855